

Inhaltsverzeichnis

Vorwort und Einführung	V
1 Newtonsche Mechanik	1
1.1 Kinematik	1
1.2 Der reelle Vektorraum \mathbb{R}^n	1
1.3 Euklidische Struktur	2
1.4 Bewegung eines Massenpunktes	4
1.5 Newtonsche Gesetze	5
1.6 Arbeit und Energie	6
1.7 Zweikörpersystem	8
1.8 Systeme von mehreren Massenpunkten	10
2 Prinzipien der Mechanik	15
2.1 Einführung	15
2.2 Zwangsbedingungen	17
2.3 Das Prinzip der virtuellen Arbeit	18
2.4 Statik (Systeme im Gleichgewicht)	19
2.5 Das d'Alembertsche Prinzip (Dynamik)	21
2.6 Variation einer Funktion	23
2.7 Das Hamiltonsche Prinzip	24
2.8 Anhang: Das totale Differential	26
3 Die Lagrangeschen Bewegungsgleichungen	29
3.1 Die Lagrangeschen Gleichungen	29
3.2 Forminvarianz der Lagrangeschen Gleichungen	31
3.3 Beispiele	32
3.4 Verallgemeinerte Potentiale	35
3.5 Lagrangesche Gleichungen und allgemeine Zwangsbedingungen	37
4 Symmetrien und Erhaltungssätze	41
4.1 Verallgemeinerte Impulse	41
4.2 Zyklische Koordinaten	42
4.3 Noether-Theorem	44
4.4 Impulserhaltung	45

4.5	Drehimpulserhaltung	46
4.6	Hamilton-Funktion	47
5	Hamiltonsche Mechanik	49
5.1	Legendre-Transformation	49
5.2	Die Hamiltonschen Gleichungen	51
5.3	Der Phasenraum	54
5.4	Das Prinzip der kleinsten Wirkung im Phasenraum	55
5.5	Liouvillesches Theorem	56
5.6	Die Poissonschen Klammern	58
6	Kanonische Transformationen	61
6.1	Punkt- und kanonische Transformationen	61
6.2	Kanonische Transformationen und Poisson-Klammern	65
6.3	Infinitesimale kanonische Transformationen	67
6.4	Hamilton-Jacobi-Gleichung	69
7	Drehungen	71
7.1	Drehmatrix	71
7.2	Infinitesimale Drehungen	73
7.3	Drehgruppe	75
7.4	Drehungen und Observable	78
7.5	Tensoren	79
7.6	Tensoralgebra	82
8	Rotierende Koordinatensysteme	85
8.1	Ein Beispiel	85
8.2	Winkelgeschwindigkeit	86
8.3	Geschwindigkeit im rotierenden Koordinatensystem	89
8.4	Bewegungsgleichung im rotierenden Koordinatensystem	90
8.5	Das Foucaultsche Pendel	92
8.6	Euler-Winkel	93
9	Dynamik starrer Körper	97
9.1	Starre Körper	97
9.2	Trägheitstensor	98
9.3	Die Eulerschen Kreiselgleichungen	101
9.4	Der kräftefreie Kreisel	103
10	Relativitätstheorie	107
10.1	Postulate	107
10.2	Einfache Lorentz-Transformation	108
10.3	Intervalle, 4-Abstände	110
10.4	Transformation der Geschwindigkeiten	112
10.5	4-Vektoren	113
10.6	Homogene Lorentz-Transformation	113

10.7	Infinitesimale Lorentz-Transformationen	116
10.8	4-Tensoren	120
10.9	Kovarianz der Naturgesetze	122
10.10	Lorentzkovariante Kinematik eines Massenpunktes	123
10.11	Kovariantes Wirkungsprinzip	125
10.12	Streuung von Teilchen	128
11	Maxwell-Gleichungen	131
11.1	Relativistische Dynamik	131
11.2	Transformationsverhalten von \vec{E} und \vec{B}	135
11.3	Der elektromagnetische Feldtensor	136
11.4	4-Potentiale	138
11.5	Homogene Maxwell-Gleichungen	138
11.6	Die inhomogenen Maxwell-Gleichungen	139
11.7	Eichtransformationen	141
11.8	Differentialgleichungen für die Potentiale	141
11.9	Poyntingsches Theorem	142
11.10	Das Ohmsche Gesetz	144
11.11	Lagrangesche Formulierung	146
12	Elektrostatik	149
12.1	Das elektrostatische Feld	149
12.2	Das Coulombsche Gesetz	150
12.3	Die Green-Funktion	154
12.4	Multipolentwicklung in der Elektrostatik	155
13	Der Energie-Impuls-Tensor	159
13.1	Der Energie-Impuls-Tensor des elektromagnetischen Feldes	159
13.2	Stromdichte von bewegten Punktladungen	161
13.3	Energie-Impuls-Tensor eines geladenen Teilchens	163
13.4	Drehimpulserhaltung	165
13.5	Noether-Theorem für Felder	166
14	Elektromagnetische Strahlung	169
14.1	Green-Funktionen, Retardierte Potentiale	169
14.2	Multipolentwicklung der retardierten Potentiale	173
14.3	Elektrische Dipolstrahlung $E1$	176
14.4	Lineare Antennen	180
15	Strahlung einer bewegten Punktladung	185
15.1	Lienard-Wiechertsche Potentiale	186
15.2	Liénard-Wiechert-Felder	189
15.3	Strahlung im Ruhssystem (zur Zeit τ_0)	192
15.4	Allgemeinere Beispiele	194

16 Maxwell-Gleichungen in Materie	197
16.1 Mittelung	197
16.2 Mikroskopisches Modell	199
17 Ebene Elektromagnetische Wellen	207
17.1 Die Wellengleichung	207
17.2 Polarisierung	210
17.3 Brechung und Reflexion	212
17.4 Die Fresnelsche Formeln	214
18 Allgemeine Relativitätstheorie	219
18.1 Gravitation in der klassischen Mechanik	219
18.2 Allgemeine Koordinatentransformationen	220
18.3 Die kovariante Ableitung	225
18.4 Der Krümmungstensor	227
18.5 Geodäten	230
18.6 Die Einstein-Gleichungen	231
18.7 Die Schwarzschild-Lösung	237
19 Komplexe Vektorräume	245
19.1 Vektoren	245
19.2 Der komplexe Vektorraum \mathbb{C}^N	246
19.3 Skalarprodukt	246
19.4 Basis	249
19.5 Lineare Operatoren	250
19.6 Inverser Operator	252
19.7 Der adjungierte Operator	252
19.8 Unitäre Operatoren	254
19.9 Eigenwerte und Eigenvektoren	254
19.10 Erwartungswert	257
19.11 Operatoridentitäten	257
19.12 Die Spur eines Operators	258
19.13 Produktraum	259
19.14 Der Hilbertsche Funktionenraum \mathbb{L}^2	260
19.15 Vollständigkeit in \mathbb{L}^2	261
19.16 Konvergenz	262
19.17 Lineare Operatoren im Hilbertschen Funktionenraum	263
19.18 Nicht-Normierbare Basen	264
20 Grundlagen der Quantenmechanik	267
20.1 Zustände und Observable in der klassischen Mechanik	267
20.2 Postulate der Quantenmechanik	268
20.3 Dynamik	274
20.4 Heisenberg-Bild	276
20.5 Schrödinger-Bild	276
20.6 Energie-Eigenzustände	279

21 Quantentheorie des Spins	283
21.1 Das Stern-Gerlach Experiment	284
21.2 Der zweidimensionale Zustandsraum \mathbb{C}^2	286
21.3 Spin-Operatoren	288
21.4 Spinpräzession	294
21.5 Allgemeinerer Zwei-Zustandssysteme	298
21.6 Photonen	301
22 Quanteninformation und Verschränkung	305
22.1 Qubits	305
22.2 Verschränkung	306
22.3 Die Bellsche Ungleichung	308
23 Der harmonische Oszillator	315
23.1 Energieeigenwerte	315
23.2 Zeitliche Entwicklung	322
23.3 Kohärente Zustände	324
24 Orts- und Impulsdarstellung	329
24.1 Der Ortsoperator	329
24.2 Translationen und der Impulsoperator	332
24.3 Der Hamilton-Differentialoperator	335
24.4 Beispiel: Der harmonische Oszillator	337
24.5 Beispiel: Bahndrehimpuls	339
24.6 Beispiel: Starrer Rotator	340
24.7 Impulsraum	342
24.8 Anhang: Polynommethode für den Harmonischen Oszillator	343
25 Der Dichteoperator	347
25.1 Der Dichteoperator für reine Zustände	347
25.2 Der Dichte-Operator für statistische Gemische	349
25.3 Dichtematrix für Spin- $\frac{1}{2}$ -Systeme	351
25.4 Eigenschaften der allgemeinen Dichtematrix	354
25.5 Die Dichtematrix in der Ortsdarstellung	355
25.6 Zeitliche Entwicklung eines gemischten Ensembles	356
25.7 Dichte-Operator für Teilsysteme	357
25.8 Von Neumannsches Messpostulat	359
25.9 Dekohärenz	361
26 Die Feynmansche Quantenmechanik	363
26.1 Der Propagator	363
27 Symmetrien in der Quantenmechanik	369
27.1 Das Wignersche Theorem	369
27.2 Unitäre Transformationen	370
27.3 Symmetrie	372

27.4	Drehungen in der klassischen Mechanik	374
27.5	Drehungen in der Quantenmechanik	376
27.6	Observable und Drehungen	376
27.7	Drehimpuls-Vertauschungsrelationen	378
27.8	Endliche Drehungen	379
27.9	Darstellungen von Spin- $\frac{1}{2}$ -Systemen	380
27.10	Neutronen-Interferenz	382
27.11	Drehinvarianz und Drehimpulserhaltung	384
28	Eigenwertproblem von Drehimpulsoperatoren	385
28.1	Drehimpuls-Eigenvektoren	385
28.2	Leiteroperatoren	386
28.3	Eigenwerte von J^2 und J_z	387
28.4	Bestimmung des Normierungsfaktors	388
28.5	Matrixdarstellung des Drehoperators	389
28.6	Drehmatrix und Euler-Winkel	390
28.7	Entartungen	391
28.8	Ganzzahlige und Halbzahlige j	392
29	Addition von Drehimpulsen	393
29.1	Produktraum	393
29.2	Spin-Bahn-Kopplung	394
29.3	Clebsch-Gordan-Koeffizienten	397
29.4	Zwei Spin- $\frac{1}{2}$ -Systeme	399
30	Bahndrehimpuls in der Ortsdarstellung	403
30.1	Bahndrehimpuls	403
30.2	Drehimpuls-Eigenfunktionen	407
30.3	Bestimmung der $Y_l^m(\theta, \phi)$	409
31	Das Wasserstoffatom	411
31.1	Zentralpotentiale	411
31.2	Das Wasserstoff-Atom	413
32	Diskrete Symmetrien	417
32.1	Rauspiegelungen: Parität	417
32.2	Zeitumkehr	422
33	Zeitunabhängige Störungstheorie	429
33.1	Nicht-Entarteter Fall	429
33.2	Entartung	432
34	Feinstruktur des Wasserstoffatoms	435
34.1	Spin-Bahn-Kopplung	436
34.2	Relativistische Korrektur	438
34.3	Darwin-Term	439

35 Identische Teilchen	443
35.1 Permutationssymmetrie	443
35.2 Das Heliumatom	445
36 Quanten-Statistische Mechanik	451
36.1 Einführung	451
36.2 Entropie	453
36.3 Stationäre Ensembles	455
36.4 Systeme von nicht-wechselwirkenden Teilchen	462
37 Quantenfelder	469
37.1 Felder und Teilchen	469
37.2 Quantisierung von Feldern	471
37.3 Beobachtbarkeit, Realität und Vollständigkeit in der Quantentheorie	482
Index	485